

---

# *Ecologia industrial aplicada al sector paperer de Catalunya*

**\*Rita Puig<sup>1</sup>, Antoni Rius<sup>1</sup>, Elena Martí<sup>1</sup>, Miquel Solé<sup>1</sup>, Jordi Riba<sup>1</sup>, Pere Fullana<sup>2</sup>.**

<sup>1</sup>Escola Universitària d'Igualada (EUETII-Escola d'Adoberia), Universitat Politècnica de Catalunya.

Plaça del rei, 1, 08700 Igualada, Spain.

<sup>2</sup>Escola Superior de Comerç Internacional, Universitat Pompeu Fabra. Passeig Pujades 1, 08003 Barcelona, Spain.

---

*Ecología industrial en el sector papelero de Cataluña*

*Industrial Ecology in the Catalan Paper Industry*

*Recibido: 21 de mayo de 2008; aceptado: 5 de junio de 2008*

## RESUMEN

El objetivo del presente proyecto (que forma parte del proyecto CICLE) es conocer la situación actual de aprovechamiento y reciclaje de residuos del sector papelero en Cataluña y proponer mejoras siguiendo los principios de la ecología industrial. Para ello se ha realizado un diagnóstico identificando y cuantificando los distintos residuos producidos, así como su destino final. Los residuos de depuración grosera actualmente van a vertedero y los lodos de depuración, en una proporción elevada, tampoco se aprovechan. Las principales mejoras propuestas son, por lo tanto: la utilización de la tecnología Rofire<sup>®</sup> para el aprovechamiento energético del primero de los dos residuos y la utilización de los lodos de depuración como combustible en un sistema de cogeneración propio. La tecnología Rofire<sup>®</sup> reduciría en un 85,8 % las emisiones de CO<sub>2</sub> y sería económicamente viable cuando el precio de vertido alcance los 50,88 €/t. La opción de la cogeneración debe estudiarse para cada empresa en particular.

**Palabras clave:** Ecología industrial. Proceso papelero. Intercambio de residuos. Gestión de residuos. Reciclaje.

## SUMMARY

The aim of this project (part of the CICLE project) is to know the current waste recovery and recycling options in the Catalan paper sector and to identify environmental improvements following the Industrial Ecology principles. A diagnosis has been done to identify and quantify the different wastes obtained as well as their destination. The solid waste from the gross solid filtration previous to waste water treatment is currently going

to landfill, as well as the sludge, which mainly is not profitable either. The main proposals for environmental improvement are: the use of Rofire<sup>®</sup> technology to obtain energy from the first type of waste and the use of sludge as fuel in a cogeneration plant. The Rofire<sup>®</sup> technology would reduce 85,8 % the CO<sub>2</sub> emissions and would be economically feasible when the price of dumping waste would be around 50,88 €/t. The cogeneration option must be studied for each factory specifically.

**Key words:** Industrial ecology. Paper process. Waste exchange. Waste management. Waste recycling.

## RESUM

L'objectiu del projecte presentat aquí (que forma part del projecte CICLE), és conèixer la situació actual d'aprofitament i reciclatge de residus del sector paperer català i fer propostes de millora seguint els principis de l'ecologia industrial. Per això s'ha fet una diagnosi identificant i quantificant els diferents residus produïts per aquesta indústria a Catalunya i el seu destí. Els residus de depuració grollera van actualment a abocador i els fangs de depuració, en una proporció elevada, tampoc no s'aprofiten. Les principals millores proposades són, per tant: la utilització de la tecnologia Rofire<sup>®</sup> per a l'aprofitament energètic del residu de depuració grollera, que reduiria en un 85,8 % les emissions de CO<sub>2</sub> i que seria econòmicament viable quan el cost de l'abocador sigui d'uns 50,88 €/t de residu i la cogeneració utilitzant fangs de depuració com a combustible. Aquesta darrera opció s'hauria d'estudiar a fons per a cada empresa en particular.

**Mots clau:** Ecologia industrial. Procés paperer. Intercanvi de residus. Gestió de residus. Reciclatge.

## 1. INTRODUCCIÓ

L'Ecologia industrial implica una interrelació d'indústries (en terme de fluxos de matèria, energia i informació) i una interrelació sostenible amb el medi natural i social que les envolta. Aquesta interrelació té l'objectiu de tancar els cicles materials i energètics, no produint, per tant, residus i per altra banda, reduint l'explotació de recursos naturals<sup>(1)</sup>. Aquest objectiu s'aconsegueix en part, utilitzant els subproductes d'una indústria com a matèria primera d'una altra. El sector paperer està emigrant des de països europeus cap a altres països d'arreu del món, degut als reptes de sostenibilitat que té. La competitivitat d'aquest sector industrial està estretament relacionada amb aspectes ambientals, econòmics i socials i la cooperació entre empreses es fa imprescindible per a desenvolupar les accions necessàries per aconseguir la sostenibilitat.

En aquest context s'emmarca el present projecte, en el qual s'han estudiat a fons els processos productius de les empreses papereres a Catalunya i els seus consums i emissions. Aquest estudi es fa amb l'objectiu de trobar potencials consumidors de les emissions, o bé, veure si amb senzilles modificacions del procés es podria fer viable la valorització d'aquestes. Així mateix, es disposarà d'informació sobre les matèries primeres que utilitzen per si, en algun moment, el sector paperer pogués esdevenir consumidor potencial de residus d'altres sectors.

## 2. METODOLOGIA

El projecte presentat aquí, s'estructura en dues fases:

- Diagnosi: s'ha estudiat a fons el sector paperer català, identificant les característiques de les entrades i sortides de matèria i energia al llarg del procés productiu, tenint en compte les variacions que hi pugui haver en els processos segons l'article final desitjat. Les dades s'han obtingut a partir de documents, visites i entrevistes a diferents actors implicats: l'Agència Catalana de Residus, empreses papereres, empreses gestores de residus, la «Asociación Nacional de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón» (ASPAPEL) i el Instituto papelero Español (IPE).
- Proposta de millores: s'ha buscat a la bibliografia<sup>(2,3)</sup> informació respecte a la gestió de residus sòlids del sector paperer i les tendències que segueixen diferents estudis que s'estan realitzant. S'han portat a terme algunes experiències en empreses concretes.

## 3. DIAGNOSI DEL SECTOR PAPERER CATALÀ

### 3.1. Processos de fabricació de pasta i paper<sup>(4-7)</sup>

En aquest estudi es descriuen dos processos ben diferenciats. Un primer procés que és la fabricació i preparació de la pasta paperera (procés P1), i un altre on es descriu la fabricació de paper i cartró a partir de la pasta o polpa ja preparada (que pot ser polpa verge, polpa reciclada o una composició amb diferents proporcions de cada una d'elles), procés P2.

No s'ha estudiat la fabricació de la pasta de paper verge, és a dir, la que s'obté de la fusta d'arbres com el pi o l'eucaliptus, o bé, d'altres vegetals com el lli, cànem, etc., ja que Catalunya actualment només es troba una empresa que fabriqués aquest tipus de pasta i la resta de pasta verge utilitzada és importada d'altres llocs.

Per a cadascun dels 2 processos estudiats, s'ha realitzat un diagrama on es mostren, de manera resumida, totes les etapes del procés, les matèries primeres que s'utilitzen i els residus que en resulten (Figures 1 i 2).

S'ha constatat que totes les empreses catalanes que fan el primer procés (P1, fabricació de pasta reciclada), fan també el segon (P2, fabricació de paper i cartró); són per tant empreses integrades. Per altra banda, la majoria d'empreses que realitzen només el segon procés (P2, fabricació de paper i/o cartró) és per què utilitzen un % molt elevat de pasta verge com a matèria primera.

En la Figura 1 queda representat el procés més complet que es pot seguir en la fabricació de pasta reciclada, però no en tots els casos és necessari destintar i/o blanquejar la pasta. Segons el producte final que volem obtenir, és suficient amb la primera etapa de depuració. Per exemple, per fabricar cartró no cal destintar. El destintat es realitza en la fabricació de paper tissú o paper d'impressió, ja que es fabrica a partir de paper de diari, revistes o paper d'oficina i es vol obtenir paper blanc. Quan es tracta de la fabricació de paper reciclat, el blanqueig es realitza eventualment.

La Figura 2 mostra el procés de fabricació de paper i/o cartró. S'hi han distingit tres fases, la part humida (on es prepara la pasta), la màquina de paper (on es forma la fulla de paper) i la gestió i venda del paper acabat.

La part humida comprèn la preparació i depuració de les pastes. La pasta pròpia s'afegeix a l'etapa de refí per aconseguir que totes les fibres rebuin el mateix tractament.

A la part de la màquina de paper, l'etapa d'acabats no sempre es realitza, només es fa quan es vol aconseguir alguna característica especial en el paper acabat, com ara, millorar la capacitat per a la impressió, aplicant una capa d'estucat.

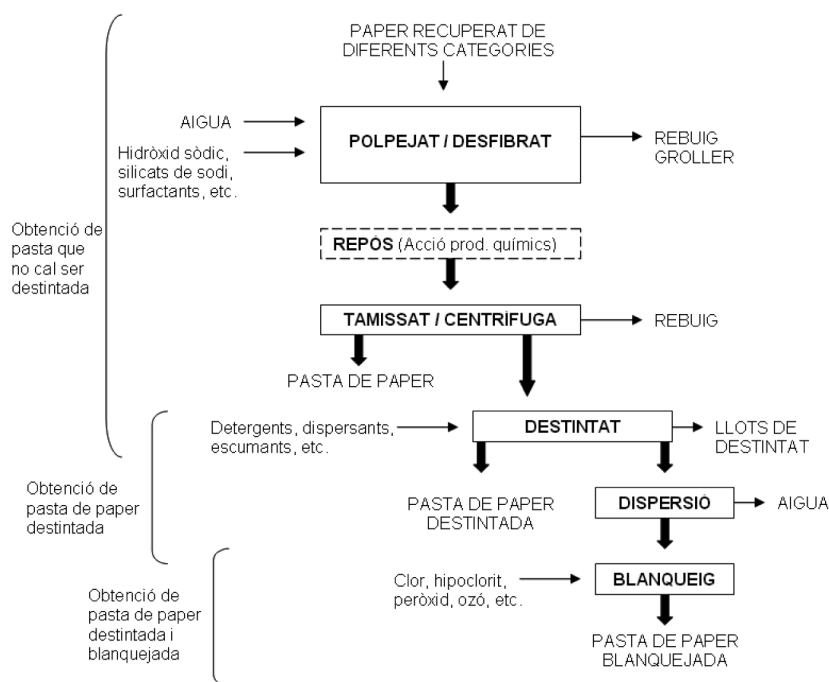


Figura 1. Etapes del procés de fabricació de pasta reciclada.

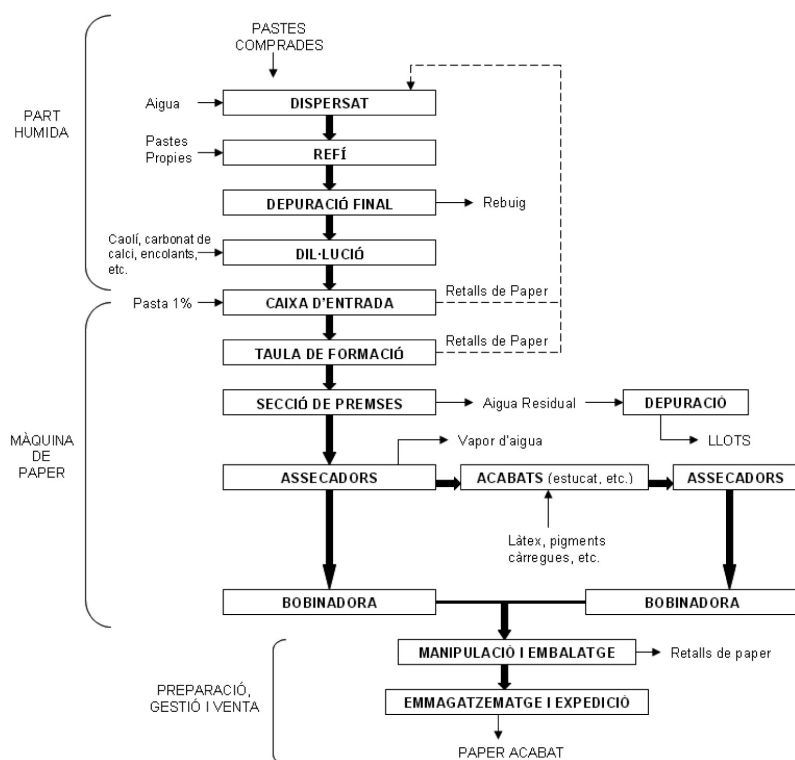


Figura 2. Etapes del procés de fabricació de paper i cartró.

Els retalls de paper provenen de les vores de la fulla de paper. Les vores es retallen perquè l'ample de la fulla sigui uniforme. També es consideren retalls de paper els trossos o bobines de paper defectuosos. Les papereres, normalment disposen de depuradores on es realitza un tractament físico-químic de les aigües residuals.

### 3.2. Gestió actual de residus<sup>(7)</sup>

A partir de visites a empreses i de les dades de l'Agència Catalana de Residus, s'ha obtingut informació de la ges-

tió que es fa a Catalunya de cadascun dels residus del procés de pasta i paper (Taula 1).

Els fangs de destintat es barregen amb els fangs primaris. Els fangs primaris estan formats per fibra i càrrega inorgànica (caolí, carbonats, silicats) amb un contingut en càrrega que varia, segons el tipus d'empresa, entre un 10% i un 35%.

Els fangs secundaris són els que s'obtenen de fer una depuració biològica de les aigües residuals. De moment s'obtenen en poca quantitat, ja que en la majoria dels casos les aigües residuals reben un tractament físico-químic.

La càrrega inorgànica que contenen els fangs primaris és útil per a la fabricació de ciment i ceràmica, mentre que els fangs rics en fibres es poden utilitzar per tornar a fabricar cartró (oueres, motlles...).

Els retalls de paper es reciclen normalment de manera interna. Els retalls que s'obtenen a l'entrada de la màquina, bobines de paper defectuoses, etc., es retornen al púlper on es barregen amb la pasta de paper per tornar a entrar a la màquina. Però, en alguns casos, en la fabricació de papers més especials, si no es pot reciclar de manera interna degut als additius que s'han afegit (ex. resines

fenòliques), es venen com a matèria primera a fàbriques de paper reciclat. Les bobines defectuoses es venen en mercats de menor qualitat o es busquen altres alternatives.

També es va obtenir informació sobre la quantitat de residus i el tipus de gestió d'aquests per a les 12 empreses que realitzen només el procés P2 (fabricació de paper i cartró)<sup>(8)</sup> a Catalunya. Aquesta informació s'obté de les dades de la declaració anual de residus, Agència Catalana de Residus (Taula 2).

TAULA I

Aprofitament actual dels residus del procés de fabricació de paper i cartró (A4) i del procés integrat (A3+A4).

Residu de procés	P1 + P2	P2	Producte obtingut	Destí
Rebuig	X			Abocador
Fangs de destintat	X		Barrejats amb primaris	
Fangs primaris	X	X	Càrregues inerts	Cimentera
	X	X	Càrregues inerts	Ceràmiques
	X	X	Fibres + càrregues per a cartró	Papereres
	X	X		Abocador
	X		Fertilitzants	
Fangs secundaris	X	X		Abocador / Cimentera
Retalls de paper i cartró	X	X	Es recicla	Intern/extern

**TAULA II**

Quantitats de residus de les empreses catalanes que realitzen el procés de fabricació de paper i cartró (P2).

Codi	Descripció	Quantitat (t/any)	Valorització (%)	Abocador (%)	Altres (%)
30205	Llots de fibra i paper	894	90,8		9,2
30208	Rebuig del paper del procés de reciclat	1.188,36	100		
30290	Llots de tractament d'efluents	23.195,4	41,3	47	11,7
30299	Residus no especificats anteriorment	6.619	100		
	<b>Total</b>	<b>31.896,76</b>			

De la mateixa manera, també es va obtenir informació de la quantitat de residus i tipus de gestió per a les 33 empreses que realitzen el procés integrat (P1+P2)<sup>(6)</sup> (veure Taula 3).

### 3.3. Resultats del diagnòstic

A la indústria paperera es distingeixen diferents tipus de fangs: els fangs primaris, els fangs secundaris i els fangs de destintat. Els fangs que s'obtenen del procés de destintat, sovint, es barregen amb els llots primaris i es tracten de manera conjunta.

Les diferents maneres en les quals es poden gestionar els fangs primaris són les següents: en cimenteres i ceràmiques, on aprofiten les càrregues inerts, o en paperes, on aprofiten el contingut en fibres, anant la resta de llots a l'abocador.

Els residus que no són propis del procés (plàstic, fusta...), es valoritzen en una gran proporció, a excepció dels residus generals no recollits selectivament que es destinen a abocador.

Els dos punts febles identificats en el procés de fabricació de paper i cartró són la gestió dels residus de depuració grollera i la gestió dels fangs.

- Residus de la depuració grollera: es generen en molta quantitat (62 Kt/any a Catalunya) i la seva composició és molt variada. No es pot seleccionar per separat cada component i tractar-lo individualment. Es destinen a abocador.
- Fangs: els majoritaris són els primaris, ja que normalment les empreses papereres tenen depuració fisicoquímica i no biològica (que generaria fangs secundaris). Contenen bàsicament restes de fibra de paper i càrregues inorgàniques (caolí, sulfat de calci, etc.) que han passat a les aigües residuals. Molts fangs encara van a abocador (23.400 t/any), ja que, tot i haver-hi quatre tipus bàsics de valorització, s'ha detectat que hi ha empreses papereres que desconeixen alguns d'aquest tipus de

valorització, sobretot l'aprofitament dels llots per part d'una altra paperera.

## 4. PROPOSTA DE MILLORES

S'ha trobat a la bibliografia<sup>(2,3)</sup> informació respecte a la gestió de residus sòlids del sector paperer. Hi ha tecnologies que tracten un únic residu, i n'hi ha que poden tractar una barreja de residus en diferents proporcions. De totes les possibilitats trobades, se n'han escollit dues com les més adequades per al sector paperer català: la tecnologia Rofire<sup>®</sup> per a l'aprofitament dels residus de depuració grollera i la cogeneració per als fangs. A continuació es descriuen les millores proposades.

### 4.1. Donar a conèixer les opcions de valorització existents

S'ha detectat que hi ha empreses papereres que desconeixen algunes de les possibles opcions de valorització de residus existents. Per aquest motiu, una senzilla acció de millora és informar a les empreses de totes les opcions actuals.

Durant l'execució del projecte es va treballar amb dues empreses per tal de veure si es podien fer millores en els aprofitaments dels residus que generaven. Es van aconseguir millores en totes dues. Concretament una d'elles, dedicada a la producció de papers especials, tenia un residu de paper acabat amb resines fenòliques que havia de portar a incinerar, ja que era considerat un residu perillós. Aquesta empresa va aconseguir trobar una empresa d'un altre sector que aprofitava aquest residu per recuperar-ne les resines fenòliques, necessàries en la producció de tapes d'inodor. Totes dues empreses van reduir costos, una de matèries primeres i l'altra de tractament de residus.

**TAULA III**

Quantitats de residus de les empreses catalanes que realitzen el procés de fabricació de paper i cartró integrat (P1+P2).

Codi	Descripció	Quantitat (t/any)	Valorització (%)	Abocador (%)	Altres (%)
30205	Llots de fibra i paper	12.467,4	80,7	16,6	2,7
30206	Depuració grollera	61.090,3		100	
30207	Llots de destintat	1.049	100		
30208	Paper del procés de reciclat	6.350	100		
30290	Llots de tractament d'efluents	76.362	85,4	14,6	
30299	Residus no especificats anteriorment	21.138	1,3	98,7	
	<b>Total</b>	<b>178.456,3</b>			

L'altra empresa paperera amb la qual es va treballar, produïa paper a partir de matèria primera verge. Els fangs generats per aquesta empresa estaven formats per aigua (50 %), fibra (20 %) i càrregues minerals (30 %). Aquests fangs, que es portaven a abocador, es va veure que podien substituir parcialment la fibra reciclada. Es va trobar una altra empresa paperera que els podia reciclar i es va produir l'intercanvi.

#### 4.2. Millora per a la gestió dels residus de depuració grollera

A Catalunya els residus de la depuració grollera es destinen directament a abocador. A continuació, es compara ambiental i econòmicament aquesta gestió actual, amb la possibilitat d'aprofitar el seu contingut energètic mitjançant una tecnologia que rep el nom de Rofire<sup>®</sup>, que s'aplica a Holanda i consisteix en obtenir un granulat que pot ser utilitzat com a combustible en indústries cimenteres, entre d'altres<sup>(9, 10)</sup>.

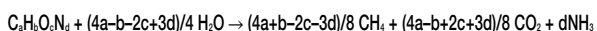
Aquesta millora implicaria una cooperació entre les diferents empreses catalanes per fer un tractament conjunt de les pràcticament 65 Kt anuals de rebuig que es produeixen.

##### Tecnologia Rofire<sup>®</sup>: avaluació ambiental

S'ha fet un estudi per tal d'avaluar quantitativament si la utilització de la tecnologia Rofire<sup>®</sup> per valoritzar el rebuig de la depuració grollera suposa una millora ambiental respecte a l'abocament. Es parteix de les següents dades:

- Es tracten 65 Kt de residu/any a partir de les quals es poden obtenir 37,5 Kt Rofire/any.
- Es tracta d'un residu que conté 90% de part orgànica (81 % plàstics, 7 % paper, 1 % tèxtil i 1 % fusta) i 10 % d'inorgànica (5 % inert, 3 % metall i 2% altres) i la seva composició correspon a la mitjana de papers recuperats.
- A l'abocador, la fracció orgànica d'aquest rebuig es descomposarà per donar principalment metà (50 %) i diòxid de carboni (50 %), que són el gasos que produeixen efecte hivernacle o escalfament global. Es consumeix 0,343 GJ d'energia i 1 tona d'arena per tona de residu.<sup>(11)</sup> Tractant-se de 65 kt de rebuig es consumeix un total de 22,28 TJ a l'any.
- Les dades corresponents a la tecnologia Rofire<sup>®</sup> s'han obtingut d'una instal·lació real que es troba a Holanda<sup>(9, 10)</sup>.
- Només es consideren, per fer l'estudi ambiental, les emissions dels gasos hivernacle i el consum d'energia.

S'ha calculat en 26,5 GJ/t el poder calorífic d'aquest rebuig. Aquest càlcul s'ha fet a partir de les capacitats calorífiques dels materials que el componen<sup>(12, 13)</sup>. Per calcular l'energia que conté la part de plàstic que ha resultat ser de 31 GJ/ton, es considera que el 90 % és polietilè i l'altre 10 % està repartit en la mateixa proporció en PET, PVC, PP i PS<sup>(12)</sup>. També s'ha calculat l'efecte ambiental que té el fet de portar aquest rebuig a l'abocador. Per calcular la quantitat de gasos que es produeixen a partir de la part orgànica del rebuig de la depuració grollera, s'utilitza la següent fórmula:



És necessari conèixer la fórmula molecular dels materials biodegradables (fibra de paper, fusta i tèxtil), els quals s'han assimilat a la cel·lulosa i la lignina. Amb aquestes consideracions s'ha calculat que s'emetrien 2,8 kt de metà i 7,6 kt de diòxid de carboni a l'any. Aquests dos gasos produeixen l'anomenat efecte hivernacle o escalfament global, que s'ha calculat en Kt de CO<sub>2</sub> (tenint en compte que el metà té un efecte 34.4 vegades major que el CO<sub>2</sub> en un horitzó de temps de 20 anys). Les dades es presenten a la taula 4.

**TABLA IV**

**Efectes ambientals de portar a l'abocador els residus de depuració grollera.**

Efectes ambientals	Abocador
Quantitat de residus (Kt/any)	65,0
Energia utilitzada (TJ/any)	22,28
Escalfament global (Kt equivalents de CO <sub>2</sub> /any)	Emissions abocador 103,9 Emissions en la generació d'energia 1,85
	<b>Total 105,75</b>

Per altra banda, es calcula també l'efecte ambiental produït en cas que les 65 Kt d'aquest residu es valoritzin mitjançant la tecnologia proposada per obtenir 37,5 Kt de Rofire (veure taula 5).

**TABLA V**

**Efectes ambientals en la producció de Rofire<sup>®</sup> a partir de 65 kton de rebuig de la depuració grollera.**

Efectes ambientals	Producció de Rofire <sup>®</sup>
Quantitat de residus (Kt/any)	9
Energia utilitzada (TJ)	Producció de Rofire <sup>®</sup> 178
	Abocador 3
	Combustibles fòssils evitats -994
Total d'energia utilitzada (TJ)	-813
Escalfament global (Kt equivalents de CO <sub>2</sub> )	Producció Rofire <sup>®</sup> + abocador 15,02

Tal i com es mostra a la taula 5, l'energia consumida durant el procés de producció de Rofire<sup>®</sup> a partir de 65 Kt de rebuig és de 178 TJ. En aquest procés, la part inorgànica del residu de depuració grollera, es separa i es porta a abocador, en total, 9 Kt de residu inorgànic que suposaran un consum energètic de 3 TJ en l'abocador. Com que en total s'obtenen 37,7 Kt de Rofire<sup>®</sup> d'un poder calorífic calculat en 26,5 GJ/t, l'energia provinent de combustible fòssil evitada, serà de 994 TJ. Per tant, l'ús de rebuig per fabricar Rofire<sup>®</sup> és ambientalment millor (per als indicadors proposats) que l'opció de dipositar-lo en l'abocador, ja que s'evita la utilització de 813 TJ/any d'energia obtinguda a partir de combustibles fòssils i produeix un efecte d'escalfament global menor (aproximadament 15 Kt de CO<sub>2</sub> equivalents enfront a 106 Kt de CO<sub>2</sub> equivalents si es destinen a abocament).

##### Tecnologia Rofire<sup>®</sup>: Viabilitat econòmica

Per fer l'estudi econòmic es parteix de les següents dades<sup>(9, 10)</sup>:

- Es considera una vida útil de la instal·lació de 10 anys.
- El cost inicial de la instal·lació (inversió sense tenir en compte els impostos) s'ha valorat en 14,3 M€.
- Tractament de 65.000 tones de rebuig cada any.
- El cost de manteniment per tona de producte obtingut és de 25 €.
- Producció anual de 37.485 tones de producte Rofire<sup>®</sup> per vendre.
- De la venda del producte es pot obtenir 1 € per tona.
- Dipositar el rebuig a l'abocador costa 42,4 € per tona de residu.

- Es considera un impost de societats del 35 % i una deducció sobre aquest impost del 35 %, que és la màxima permesa per a inversions en el medi ambient. Per tant, queda un tipus impositiu net del 22,75 %.
- El 50 % de la inversió (7.150.000 €) es finança mitjançant un crèdit a 10 anys a un interès mensual del 0,45 % i una T.A.E del 5,54 %.
- La taxa de descompte (tipus d'interès) és del 6 %. Aquesta taxa pot oscil·lar entre (4-8 %). Hi ha diferents criteris per escollir aquesta taxa de descompte: utilitzar una taxa de rendibilitat mínima, una taxa igual a la del diner en el mercat financer... Aquest darrer criteri és el que s'ha escollit per realitzar l'estudi econòmic de la instal·lació.

Per valorar si aquest projecte és viable, s'han estudiat dos mètodes de simulació financera: el *pay-back* i el valor actual net (VAN). El *pay-back* consisteix a calcular el període mínim de temps que es tarda a recuperar el desemborsament inicial de la inversió. Es denomina VAN d'una inversió a la diferència entre el seu valor actual i el seu desemborsament inicial, és a dir, a la suma de tots els fluxos de caixa que genera aquesta inversió referits a un mateix moment del temps. Com major sigui el VAN, millor serà la inversió. Un VAN negatiu significa que la inversió no és rendible. Fent els càlculs amb aquestes dades, resulta que el *pay-back* és d'un període de 4,5 anys i el VAN és negatiu (-2.555.787 €). Tot i que ens dona un període d'amortització adequat, com que el VAN és negatiu, la inversió no seria rendible.

Si considerem ara un augment del 20 % en el preu de portar els residus inerts a l'abocador, cosa bastant probable a curt termini, el preu per abocar passa a ser de 50,88 €/t de residu enfront als 42,4 €/t presos com a hipòtesi inicial. Amb aquestes dades, els resultats després de tornar a fer els càlculs són: *Pay-back* de 3,4 anys i VAN de 578.156,92 €. En aquest cas, fer la inversió per valoritzar el rebuig mitjançant la tecnologia Rofire® sí que resulta rendible.

#### 4.3. Millora en la gestió dels fangs de depuració

L'estudi mostra que a Catalunya, unes 23,4 Kt/any de fangs van a abocador. Una opció de valorització d'aquests fangs consistiria en la seva utilització com a combustible en la instal·lació de cogeneració que tenen moltes empreses papereres.

Una empresa paperera necessita un aport continu d'energia tèrmica per assecar el paper, ja que la màquina de paper treballa de forma contínua; per tant, és una empresa adient per tenir una instal·lació de cogeneració. La cogeneració suposa l'obtenció i aprofitament simultani de l'energia tèrmica i elèctrica obtingudes en cremar un combustible (a diferència del que succeeix en les centrals tèrmiques, que només aprofiten l'energia elèctrica obtinguda). Per això, la cogeneració és una opció ambientalment molt interessant.

Si, a més, aquesta cogeneració aprofita un residu com a combustible, la millora ambiental és encara major. Hi ha diferents tipus de sistemes de cogeneració que, bàsicament, obtenen l'energia mecànica a partir de gasos calents o vapor calent.

En el cas de voler utilitzar els fangs com a combustible, aquests s'hauran de gasificar per obtenir-ne els gasos de combustió calents.

Una empresa catalana, EQTEC Ibèrica, ha dissenyat una instal·lació

integrada de gasificació prèvia a la cogeneració, que utilitza com a combustible les closques d'ametlla. En altres països (Holanda, Àustria, ...) existeixen instal·lacions semblants que fan servir fangs de papereres<sup>(11)</sup>.

Una planta de cogeneració amb gasificació de biomassa integrada és una instal·lació en la qual a partir d'una biomassa sòlida (ex. fangs) es produeix un gas que s'utilitza com a combustible en uns motors de combustió interna que tenen un generador per produir electricitat. Aquests motors, a més d'electricitat, produeixen calor residual en forma de gasos d'escapament i aigua calenta de refrigeració del propi motor. Aquest calor residual pot aprofitar-se per a la producció de vapor i/o aire calent per a diferents funcions (en el cas d'una empresa paperera: per a la màquina de paper, per assecar els fangs abans d'entrar a la gasificació o per calefacció/refrigeració de la planta).

Els fangs de paperera tenen un poder calorífic que depèn de la seva composició (els de depuració secundària tenen més poder calorífic que els primaris i, d'aquests, millor com més contingut en fibres). Podem considerar uns fangs de paperera d'un poder calorífic inferior aproximat de 4000 Kcal/Kg i una humitat del 83 %. Aquests fangs s'haurien d'assecar abans d'entrar a la gasificació per no perdre rendiment en aquesta etapa. En la Figura 3 es mostra una estimació de la quantitat d'energia tèrmica i elèctrica que es podria obtenir amb les dades anteriors, mitjançant la tecnologia que EQTEC Ibèrica ha desenvolupat per a les closques d'ametlla (suposant una producció de 90 t/dia de fangs). També es podria dissenyar un sistema de cogeneració que permetés utilitzar gas natural a més del gas combustible obtingut per gasificació de la biomassa.

La viabilitat d'aquesta opció s'hauria d'estudiar detingudament per a cada empresa paperera en particular. S'ha de tenir en compte que els motors-generadors utilitzats en la cogeneració són molt sensibles a la composició dels gasos que entren; per tant, una manera d'evitar aquest problema seria utilitzar les turbines de vapor.

#### 5. CONCLUSIONS

S'ha fet una diagnosi del sector paperer català quantificant els diferents residus produïts i identificant la seva gestió actual. Els tres punts febles identificats en la diagnosi són, per una banda, el desconeixement d'algunes empreses de les possibilitats de gestió que existeixen actualment i, per altra, la gestió dels residus de depuració grossa i la gestió dels fangs.

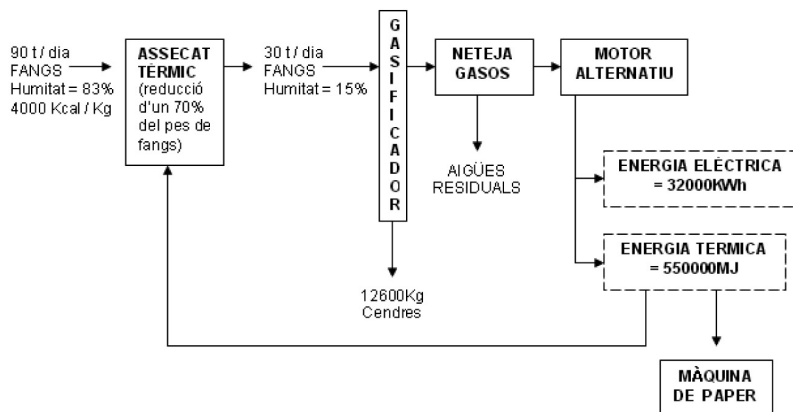


Figura 3. Energia obtinguda en la cogeneració utilitzant com a combustible fangs d'un poder calorífic inferior de 4000 Kcal/Kg.

S'han realitzat dues proves pilot de reaprofitament de residus a dues empreses papereres. Una d'elles fabrica papers especials i té un residu de paper amb resines fenòliques que s'havia d'incinerar com a residu perillós i l'altra fabrica paper de qualitat per a impressió i té com a residu uns fangs primaris que anaven a abocador. Les dues empreses han trobat un reaprofitament per aquests dos residus. Aquesta experiència positiva pot motivar a altres empreses a dur a terme iniciatives similars.

Respecte als residus de la depuració grollera, que es destinen a l'abocador, s'ha proposat la seva valorització energètica conjunta per a totes les empreses catalanes mitjançant la tecnologia Rofire®. L'avaluació ambiental d'aquesta proposta, agafant com a indicadors les emissions dels gasos hivernacle i el consum d'energia, dona favorable. La tecnologia Rofire® produeix un efecte d'escalfament global menor (aproximadament 15 Kt de CO<sub>2</sub> enfront a 106 Kt de CO<sub>2</sub> equivalents en l'abocador). La inversió de la instal·lació serà rendible quan el preu de dipositar residus a l'abocador sigui d'uns 50,88 €/t, preu al que es pot arribar en els propers anys.

Finalment, es proposa estudiar la possibilitat de valoritzar els fangs de depuració com a combustible en instal·lacions de cogeneració de la pròpia paperera. Aquesta opció s'hauria d'estudiar per a cada empresa paperera en particular.

## AGRAÏMENTS

Els autors agraeixen al Centre Català del Reciclatge de l'Agència de Residus de Catalunya (Generalitat de Catalunya) el suport econòmic i tècnic rebut per a la realització d'aquest projecte.

## BIBLIOGRAFIA

- <sup>(1)</sup>. Ayres, R.; Ayres, L., ed. *A Handbook of Industrial Ecology*. Edward Elgar. Northampton, 2001.
- <sup>(2)</sup>. Conferencia internacional: Gestión de los residuos de proceso papelerero. Instituto Papelerero Español (IPE). Barcelona, 30-31 mayo, 2002.
- <sup>(3)</sup>. Development of waste management options for paper sludge. 4th Annual Dutch «International Paper & Board Technology Event». Amsterdam, 6 February, 2002.
- <sup>(4)</sup>. Informe estadístico. Un sector en expansión. Asociación Nacional de Fabricantes de Pasta, Papel y cartón (ASPA-PEL). Madrid, 2001.
- <sup>(5)</sup>. F. Trisan. *Ecología Industrial: Intercambio de productos en el sector papelerero*. Projecte Final de Carrera. Escola Superior d'Enginyeria Industrial de Terrassa. Gener, 2003.
- <sup>(6)</sup>. Fundación Ecología y Desarrollo. Proyecto LIFE sobre el ciclo de vida del papel en Zaragoza. [www.ecodes.org/lifepapel](http://www.ecodes.org/lifepapel)
- <sup>(7)</sup>. F. Houben. *Industrial Ecology in the Catalan paper and cardboard industry*. Projecte Final de Carrera. Universitat de Utrecht (en col·laboració amb EUETI Igualada, UPC). Gener 2003.
- <sup>(8)</sup>. Junta de Residus. *Declaració Anual de Residus de les empreses del sector paperer*. Barcelona, 2000.
- <sup>(9)</sup>. 4th annual Dutch «International Paper and Board Technology event», Rofire®: from recycled paper to fuel. Vlodrop, The Netherlands, 5-6 February 2002.
- <sup>(10)</sup>. A. Oudhuis, A. Van der hemm. *Evaluatie van het Bio-energie project: Productie van Rofire bij Kappa Roermond*, Maart 2002.
- <sup>(11)</sup>. Ll. Milà, J.; Rieradevall, X.; Doménech, P.; Fullana, R. Puig. *Anàlisi del cicle de vida de la pell, aplicació a la definició dels criteris per a la concessió de l'ecoetiqueta*. 1998. Bellaterra.
- <sup>(12)</sup>. <http://www.wasteguide.org>
- <sup>(13)</sup>. <http://www.mst.dk/waste/Pack-App3ProductSystems.htm>
- <sup>(13)</sup>. F. Houben. Comunicació personal. Universitat de Utrecht. Holanda. Gener 2003.